



TITLE:

# バックステップ流中の渦構造(矩形管流れの解の構造)

AUTHOR(S):

高岡, 正憲

---

CITATION:

高岡, 正憲. バックステップ流中の渦構造(矩形管流れの解の構造). 数理解析研究所講究録 1997, 1018: 50-55

ISSUE DATE:

1997-11

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/61644>

RIGHT:

## バックステップ流中の渦構造

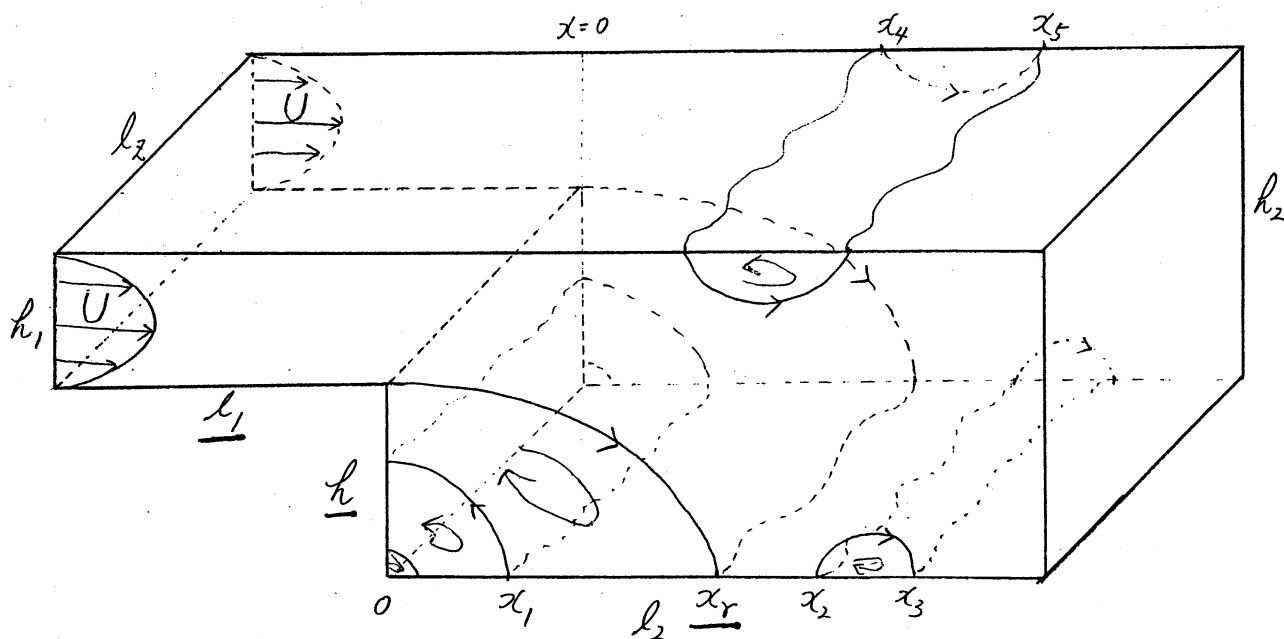
京大院大・理研・物理 高岡正憲 (Masanori Takaoka)

### 1 はじめに

本講演は、この短期共同研究会の参加者に、今後の研究について議論して頂くことを目的に、一つ的话题として提供されたもので、これまでのバックステップに関する研究をサーベイしたものです。

まず、流れ場の全体像と表記（概略）を下図に示します。

$U$	maximum velocity of inflow	$St_x$	$= fx/U$ Strouhal number
$E$	$= h_2/h_1$ expansion ratio	$Re$	$= Uh/\nu$ Reynolds number



## 2 二次元流

### 2.1 定常

- $x_r$  の  $E$  依存性

- $E < 2$  では,  $x_r$  は  $h$  に比例する.
- $E > 2$  では, upper recirculation ができ,  $x_r$  は減少する.

(Ref. Barton ('94))

- $x_r$  の  $Re$  依存性

- ( $E$  が小さいほど)  $x_r$  は  $Re$  のほぼ線形に増加する.
- $x_r$  は  $Re \sim 400$  まで増加し, その後減少する.
- $Re > 300$  で upper recirculation ができる.
- $Re > 750$  で second lower recirculation できる.

(Ref. Armaly *et al.* ('83), Thangam & Knoght ('90))

- $x_r$  の平均流入速度依存性

- 流量が同じなら

(Ref. Kaiktsis *et al.* ('91))

- $x_r$  の助走区間長さ依存性

- $Re$  が大きくなると,  $x_r$  の差は小さくなる.

(Ref. Kaiktsis *et al.* ('91))

### 2.2 非定常

- $Re = 600$  は定常流となるか?

- スキームの精度の不足により, 本来定常となるパラメータでも, 非定常となってしまう.

(Ref. Kaiktsis *et al.* ('91), Gresho *et al.* ('93), Osssmald *et al.* ('83), Kim & Moin ('85), 木山 *et al.* ('97), Sethien & Ghonem ('88) )

- $Re$  依存性 : 定常から非定常へ

- $Re < 400$  で定常で,  $x_r \propto Re^{0.75}$  となる.
- $Re \sim 500$  で, 不安定化し振動運動する.
- $Re \sim 600$  で, second bifurcation をしている.

(Ref. Kaiktsis *et al.* ('91), Le & Moin ('94) )

- 特定の振動数の摂動... T-S 波

- 下流で T-S 波が見られる.

(Ref. Kaiktsis *et al.* ('91), Asai *et al.* ('96))

### 3 三次元流

#### 3.1 定常

⇒ 二次元定常

#### 3.2 非定常

- 流れ場の  $Re$  依存性 : 定常  $\rightarrow (Re = 900) \rightarrow$  非定常  $\rightarrow (Re = 5000) \rightarrow$  乱流

- $Re = 300 \sim 5000$  で, upper recirculation ができる.
- 流れはステップの後ろでスパン方向に三次元化し, 下流で二次元性を回復する.
- $Re = 900 \sim 1800$  で, second lower recirculation ができて,  $x_r$  は小さくなる.

(Ref. Armaly *et al.* ('83), Denham & Patrick ('74), Kaikisis *et al.* ('91))

- $x_r$  の  $Re$  依存性

(Ref. Armaly *et al.* ('83), Denham & Patrick ('74), Brederode & Bradshaw ('72), Moss *et al.* ('79), Durst & Tropea ('81), Karniadakis *et al.* ('89), Osswald *et al.* ('83), Patera ('84), Kim & Moin ('85), Sethian & Ghoniem ('88), Ku *et al.* ('89), Armaly *et al.* ('83), Durst & Tropea ('81), Sinha *et al.* ('81))

- $x_r$  の  $E$  依存性

(Ref. Brederode & Bradshaw ('72), Moss *et al.* ('79), Kuehn ('80), Durst & Tropea ('81), Ötügen ('91) Ra & Chang ('90) )

- 三次元性：スパン方向の構造

– 二つの separation zone の間で，三次元化が起こる．

(Ref. Armaly *et al.* ('83), Kaikisis *et al.* ('91), Jovic & Driver ('94), 木山ら ('97), Hasan ('92), Bradshaw & Wong ('72))

- バックステップの後流と universal log-law

– ステップの下流  $x \sim 20h$  では，universal log-law より小さく，回復にはもっと長い距離が必要．

(Ref. Le *et al.* ('97), Nagano *et al.* ('91), Driver ('91), (Bradshaw & Wang ('72), Kim *et al.* ('78), Westphal *et al.* ('84), Adams *et al.* ('84) )

- recirculation 中に大きな負の skin friction

–  $|C_f|$  は  $Re$  が増加すると減少する．  $|C_{f,U_N}| = 4.5 Re_N^{-0.92}$  .

(Ref. Le *et al.* ('97), Eaton & Johnston ('80), Westphal *et al.* ('84), Adams & Johnston ('85), Driver & Seegmiller ('85) )

- 乱流の生成と turbulent kinetic energy budget

– 上流 ( $x = -2h$ ) では，zero-pressure gradient turbulent boudary layer と同じ．

- recirculation region では, plane mixing layer に似ている.
- 下流 ( $x = 7h$ ) では, production や velocity-pressure gradient は wall region で大きな値をとる.

(Ref. Le *et al.* ('97), Net *et al.* ('93), Chandrsuda & Bradshaw ('81))

流れ場 ( $x_r$ ) の時間振動... T-S 波, shear layer mode, step mode

(Ref. Hasan ('92), Bradshaw & Wong ('72), Le *et al.* ('97), Jovic & Driver ('94), Eaton & Johnston ('80), Neto *et al.* ('93), Friedrich & Arnal ('90), Driver *et al.* ('83, '87), Le & Moin ('94) )

- 特定の振動数の摂動... T-S 波

- $f_1$  や  $f_2$  に近い振動数の摂動を加えると,  $x_r$  は小さくなる.

(Ref. Kaikisis *et al.* ('91), Hasan ('92))

- スパン方向の境界条件

- 周期境界条件を固体壁の境界条件に変えると,  $x_r$  は減少する.

(Ref. Kaikisis *et al.* ('91))

## 4 モデル, クロージャー

- 現象論的モデル

- Helmholtz-Kirchhoff flow の考えを用いたモデル
- Prandtl-Batchelor model, Childress model
- O'Malley *et al.* model, composite model

(Ref. O'Malley *et al.* ('91), Childress ('66), Riley ('88), Sadovskii ('71), Moore *et al.* ('88))

- $K$ - $\epsilon$ , RNG, SGS-model, Reynolds stress, ...

(Ref. Neto *et al.* ('93), Zhou *et al.* ('94)), Rubinstein & Barton ('90), Speziale ('87), Yoshizawa ('84))

## 5 最後に

これまでのバックステップに関する研究をサーベイしてきましたが、調べながら思ったことは、多くの研究がなされてきたがまだまだやることがあり、(計算機の実力の進歩も含め)それが出来る段階になってきた、ということです。そのいくつかを以下に挙げて終わることにします。

- 流入と流出の境界条件をより適当なものとして、定常解の  $Re$  依存性 (recirculation の生成, bifurcation) を調べる。
- 実験との比較や実験では難しい極端な状況を、3次元の直接数値シミュレーションする。
- O'Malley *et al.* model に Moore *et al.* の解を導入することによる改良。